Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 209-221

Analysis of Phenology and Net Ecological Production of *Hyssopus officinalis* using AEZ Model under Subtropical Conditions of Southern Kerman

Nazila Abousaeidi-Dolatabad[1], Mehrangiz Jowkar[2], Ahmad Aeen[3], Javad Taei-Semiromi[4*], Zeinab Roozpeikar[1]

Received: 17-07-2021 Revised: 15-12-2021 Accepted: 19-12-2021 Available Online: 19-12-2021	**How to cite this article:** Abousaeidi-Dolatabad, N., Jowkar, M., Aeen, A., Taei-Semiromi, J., & Roozpeikar, Z. (2023). Analysis of phenology and net ecological production of *Hyssopus officinalis* using AEZ model under subtropical conditions of Southern Kerman. *Journal of Agroecology*, *15*(2), 209-221. DOI: 10.22067/agry.2021.70648.1045

Introduction

Hyssop (*Hyssopus officinalis*) is a plant belonging to the genus Mint. The origin of this plant is reported to be Asia Minor, and it goes from the Caspian Sea to the Black Sea ndin the sandy areas of the Mediterranean. Usable parts of hyssop are flowering branches, leaves, and seeds. Nowadays, the simulation models of growth and development have been used as suitable tools for acknowledging and analyzing the effect of plant, soil, and atmosphere parameters on plant's growth and development. Over the last two decades, FAO (Food and Agriculture Organization) has developed and successfully applied the agroecological zones (AEZ) methodology and supporting software packages to analysis solutions to various problems of land resources for planning and management for sustainable agricultural development at regional, national and sub-national levels. The issues addressed include linking land-use outputs with other development goals in such areas as food production, food self-sufficiency, cash crop requirements, issues of soil fertility constraints, soil erosion risks, and land degradation. This procedure can calculate and present the potential biomass production of any crops under specific climatic conditions using climatology parameters. FAO has presented the procedure manual of the AEZ Package as a guideline to analyze land suitability for any crops. So, the current research is done to investigate the optimum planting date and forecast the biomass production of Hyssop using the AEZ model.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a splitplot in a completely randomized block design with six planting dates and three replications in 2017-2018. The main factor was different levels of nitrogen fertilizer: 0, 50, 100, and 150 kg.ha^{-1}, and the sub-factor was planting dates between 30-day periods from 17 October to 25 March. The data from this experiment were used to calibrate the model of AEZ, and the data from two years of planting date experiments in the period 2016-2017 were used to evaluate the model so that the data collected in the first year were used for calibration and the data of the second year were used for evaluation. The index of Physiological Days (PDays) was used for analyzing the photoperiod response of hyssop during different planting dates. The procedure of Soltane et al. (2006) was used to calculate the PDays index.

1- M.Sc. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran.
2- Assistant professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran.
3- Associate professor, Department of agronomy and Horticulture sciences, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Jiroft, Iran.
4- Assistant professor, Department of Agricultural Science, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.
(*-Corresponding author's Email: javadtaei.tvu@gmail.com; jtaei@tvu.ac.ir)

Results and Discussion

The AEZ model evaluation results showed that the RMSEn value of the predicted biomass was 10.81%, and the efficiency index (E), the Hyssop adaptation index (D) value, the coefficient of residual mass (CRM) value in the first year for the predicted value was 0.999, 0.98 and 0.06, respectively. The coefficient of determination (R2) was obtained by linear regression analysis of functions between the actual and simulated values in the first year (R2=0.98). The RMSEn, (E), (D), and (CRM) values for the predicted biomass in the second year were 5.96, 0.999, 0.0454, and 0.98%, respectively. These results indicate that the simulated and actual values are in good agreement. Consequently, the model simulated the biomass with high accuracy. The results of biomass and yield analyzing using the AEZ model indicated a limited growth period within a period in Jiroft station can be occurred from May to 21 September, at this period, the plant stops growing, and the yield decreases. Based on model estimation values for other related climatology stations: the highest biomass yield for Bam climatology station (2321.9 $kg.ha^{-1}$ and 23550.2 $kg.ha^{-1}$, respectively) can be September to early October, the cold stress limitation can be occurred at the planting date from 1 December to 3 February 3rd, and the heat stress can occur on July planting date. In Kahnuj station, a limited growth period with high temperature can be occurred from Early May to 11 September, and the highest biomass performance can (19413.9 $kg.ha^{-1}$ and 19764.3 $kg.ha\text{-}^{1}$, respectively) be obtained at the planting date from October to early November.

Conclusion

Given the ability of the AEZ model to analyze the hyssop plant production system, which can simulate the effect of different climatic, soil, managerial, and plant variables on plant growth and yield; this model can be widely used in different regions as it is used as an important decision-making and management tool in research and executive dimensions.

Keywords: AEZ mode, *Hyssopus officinalis* planting date, net ecological production

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص ۲۲۱-۲۰۹

تحلیل فنولوژی و تولید خالص اکولوژیک زوفا (*Hyssopus officinalis*) با استفاده از مدل AEZ در شرایط نیمه‌گرمسیری جنوب استان کرمان

نازیلا ابوسعیدی دولت‌آباد[1]، مهرانگیز جوکار[۲]، احمد آیین[۳]، جواد طایی سمیرمی[٤]* و زینب روز پیکر[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸

چکیده

کمّی‌سازی رشد و نمو در گیاهان ابزاری مهم جهت بهینه کردن عملیات زراعی و توسعه کشت و تولید گیاهان دارویی است. این پژوهش به‌منظور بررسی امکان پیش‌بینی تاریخ کاشت بهینه زوفا (*Hyssopus officinalis*) با استفاده از مدل AEZ انجام شد. پایگاه داده‌های ورودی مدل از داده‌های آب‌وهوا (تابش خورشیدی، دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی)، داده‌های گیاه (مراحل و عملکرد زیست‌توده) و داده‌های خاک (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) ایجاد شد. آزمایش در مزرعه به‌صورت اسپیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اصلی سطوح مختلف کود نیتروژن شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و عامل فرعی تاریخ‌های مختلف کاشت به‌فاصله ۳۰ روزه از ۲۵ مهرماه تا ۲۵ اسفندماه در نظر گرفته شد، داده‌های این آزمایش برای واسنجی مدل و داده‌های دو سال آزمایش‌های تاریخ کاشت در دوره ۱۳۹۵-۹۷ برای ارزیابی مدل استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (RMSEn) زیست‌توده پیش‌بینی شده ۱۰/۸۱ درصد بود، مقدار شاخص کارایی (E)، مقدار شاخص سازگاری (D) مدل، مقدار شاخص جرم باقی‌مانده (CRM) ، ضریب تبیین (R^2) برای سال اول به‌ترتیب ۰/۹۹۹، ۰/۹۸ ، ۰/۶۶ و ۹۸ درصد بود، مقدار RMSEn، (E)، (D) و (CRM) در سال دوم به‌ترتیب برابر با ۵/۹۶، ۰/۹۹۹، ۰/۹۸ و ۰/۰۴۵۴ و ۰/۹۸ درصد مشاهده شد. نتایج بیانگر تطابق خوب مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی بوده و مدل با دقت بالایی زیست‌توده را شبیه‌سازی نموده است. نتایج حاصل از تحلیل دوره‌ای تاریخ کاشت و تولید زیست‌توده خالص با استفاده از مدل AEZ در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه نشان داد: در ایستگاه هواشناسی جیرفت به‌طور میانگین دوره رشد در بازه زمانی خردادماه تا ۳۱ شهریور با محدودیت تنش گرما مواجه است در این زمان، رشد گیاه متوقف می‌شود و تولید زیست‌توده کاهش پیدا می‌کند. در ایستگاه هواشناسی بم، بیشترین زیست‌توده (به‌ترتیب ۲۳۲۱۹/۹ و ۲۳۵۵۰/۲ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت‌های اول مهرماه تا اوایل آبان‌ماه پیش‌بینی گردید در این منطقه، محدودیت تنش سرما در تاریخ کاشت‌های اول دی‌ماه تا ۱۵ بهمن‌ماه و محدودیت دمایی تنش گرما در تیرماه پیش‌بینی شد. در ایستگاه هواشناسی کهنوج دوره محدودکننده رشد از اوایل خردادماه تا اواخر شهریورماه پیش‌بینی گردید، بیشترین عملکرد زیست‌توده (به‌ترتیب ۱۹۴۱۳/۹ و ۱۹۷۶۴/۳ کیلوگرم در هکتار) برای این منطقه در تاریخ‌های کاشت اول آبان‌ماه تا اوایل آذرماه تخمین زده شد.

واژه‌های کلیدی: تولید اکولوژیک ناخالص، تاریخ کاشت، تخمین عملکرد، گیاهان دارویی

مقدمه

۱ - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.

زوفا (*Hyssopus officinalis*) گیاهی متعلق به تیره نعناعیان[1] است (Zawislak, 2013). منشاء این گیاه آسیای صغیر گزارش شده و از دریای خزر تا دریای سیاه و همچنین، در مناطق شنی مدیترانه می‌روید. بخش‌های قابل استفاده زوفا سرشاخه‌های گل‌دار، برگ‌ها و بذرها می‌باشند (Fathiazad & Hamedeyazdan, 2011; Tahir et al., 2018). زوفا شامل حدود ۱۰ تا ۱۲ گونه می‌باشد که به‌طور عمده در شرق مدیترانه تا آسیای مرکزی گسترش دارد (Fathiazad & Hamedeyazdan, 2011). زوفا گیاهی است متحمل به خشکی و در مناطق خشک و نیمه‌خشک و گرم و نواحی جنوبی تپه‌ها به‌خوبی رشد می‌کند و مکان‌های آفتابی را برای رشد ترجیح می‌دهد. بالاترین درصد جوانه‌زنی زوفا در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود (Mijani et al., 2013; Tahir et al., 2018). با توجه به اهمیت گیاه زوفا از لحاظ دارویی، صنعتی و تجاری به‌عنوان یک محصول اقتصادی سودآور می‌توان به برنامه‌ریزی توسعه کشت آن در استان کرمان اقدام نموده و جایگاه آن را از لحاظ اکولوژیک در نظام‌های زراعی منطقه مشخص کرد. در این راستا، بررسی متغیرهای تولید، تخمین تاریخ کاشت، پیش‌بینی عملکرد و تحلیل عوامل موثر آن به‌عنوان اولین و مهم‌ترین گام، ضروری می‌باشد.

مدل‌های شبیه‌سازی، به‌صورت قابل توجهی برای بهینه‌سازی مدیریت تولید گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rinaldy et al., 2003). این مدل‌ها اثرات کمّی منابع بیوفیزیکی، مانند خاک و ویژگی‌های آب و هوایی، ویژگی‌های گیاهی و فاکتورهای مدیریتی را بر روی عملکرد محصول و میزان آب مورد نیاز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند (Dua et al., 2014). در حال حاضر، مطالعات اندکی در مورد مدل‌سازی تولید زیست‌توده و تحلیل دوره فنولوژیک گیاه زوفا انجام شده است. در مورد کاربرد مدل AEZ روی این گیاه تا به حال گزارشی منتشر نشده است با این حال، برخی مطالعات انجام شده روی کارایی این مدل در گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است.

در بررسی پیش‌بینی تاریخ کاشت بهینه گیاه خارمریم (*Silybum marianum*) در منطقه جیرفت برای اولین‌بار از مدل AEZ استفاده شد. نتایج بیانگر آن است که این مدل برای شبیه‌سازی اثر تاریخ کشت بر عملکرد خارمریم قابل اعتماد است. بر اساس نتایج این پژوهش مدل AEZ توانایی بالایی در تحلیل نظام تولید این گیاه دارویی داشت و قادر بود تأثیر متغیرهای مختلف آب و هوایی، اقلیمی، مدیریتی و گیاهی را بر رشد این گیاه و عملکرد آن شبیه‌سازی نماید (Esfandiari, 2016). تخمین عملکرد سیب‌زمینی در منطقه جیرفت با استفاده از مدل AEZ حاکی از کارآیی خوب این مدل در کشت پاییزه سیب‌زمینی بود(Taei-Semiromi et al., 2015)، همچنین این محققین کارایی مدل AEZ را برای گیاهان یونجه (*Medicago sativa*)، گندم (*Triricum aestivum*)، جو، چغندرقند (*Beta vulgaris*) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در منطقه بروجن (استان چهارمحال و بختیاری) مورد بررسی قرار دادند و کارایی بالای این مدل را در تخمین توان بالقوه عملکرد این گیاهان تأیید نمودند (Taei et al., 2011). پیش‌بینی تولید خالص در شرایط اقلیمی خاص می‌تواند گام مهمی در جهت کمّی کردن اثر عوامل محیطی و اقلیمی بر تولید گیاهان دارویی در مناطق مختلف با شرایط اقلیمی متفاوت باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش در گام اول بررسی کارایی مدل AEZ و ارزیابی دقت این مدل برای تخمین میزان زیست‌توده گیاه دارویی زوفا در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری جیرفت و در گام دوم پیش‌بینی تولید ماده خشک و تعیین تاریخ کشت بهینه این گیاه برای ایستگاه‌های هم اقلیم جنوب کرمان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در جنوب شهر جیرفت (واقع در جنوب استان کرمان) است که بر اساس روش دپائو و همکاران (De Pauw et al., 2008) دارای رژیم رطوبتی خشک[2] با تابستان‌های بسیار گرم[3] و زمستان‌های ملایم[4] می باشد (Taei Semiromi et al., 2015). ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۶۰۱ متر و موقعیت جغرافیایی آن

۳- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران.
۴- استادیار گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: tvu.ac.irjtaei@)
DOI: 10.22067/agry.2021.70648.1045

1- Lamiaceae
2- Aridity index <0.2
3- Very warm summer, Tmean summer >30℃
4- Cool winter, Tmean winter >0℃

۵۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی، ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی است.

آزمایش مزرعه

آزمایش مزرعه به‌منظور ایجاد پایگاه داده مورد نیاز مدل شامل زمان وقوع مراحل فنولوژیک، کل ماده خشک تولید شده در هر مرحله، وزن خشک سرشاخه گل‌دار و کل زیست‌توده نهایی اجرا شد. به‌طوری‌که داده‌های برداشت شده در سال نخست برای کالیبراسیون و داده‌های سال دوم برای ارزیابی استفاده شد. آزمایش کشت زوفا به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان واقع در جنوب جیرفت در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. سطوح مختلف کود نیتروژن به‌عنوان عامل اصلی در چهار سطح: ۰ (N_1)، ۵۰ (N_2)، ۱۰۰ (N_3) و ۱۵۰ (N_4) کیلوگرم در هکتار و تاریخ‌های مختلف کاشت به‌عنوان عامل فرعی در شش سطح: ۲۵ مهرماه (T_1)، ۲۵ آبان‌ماه (T_2)، ۲۵ آذرماه (T_3)، ۲۵ دی‌ماه (T_4)، ۲۵ بهمن‌ماه (T_5) و ۲۵ اسفندماه (T_6) مورد بررسی قرار گرفتند. برای اجرای آزمایش ابتدا زمین مورد نظر آبیاری شده و بعد از گاورو شدن، شخم نیمه‌عمیق با گاوآهن برگردان‌دار انجام شد و قبل از کاشت دو دیسک عمود برهم و در نهایت، تسطیح لازم صورت گرفت، براساس نتایج تجزیه خاک، از کود سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت با خاک مخلوط گردید. سپس عملیات تسطیح و کرت‌بندی زمین صورت گرفت، سپس سیستم آبیاری قطره‌ای نصب گردید. ابعاد هر کرت آزمایشی ۲×۲ مترمربع متشکل از پنج ردیف کاشت در نظر گرفته شد. سپس بذر زوفا در عمق تقریبی دو سانتی‌متری خاک با فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر کشت شد.

شاخص روز فیزیولوژیک[1] (P-Days): شاخص روز فیزیولوژیک بیانگر نیاز دمایی و فتوپریودی گیاه است که در آن تمام آستانه‌های مربوط به دمای حداقل، بهینه و حداکثر لحاظ شده است. برای محاسبه این شاخص از معادله اصلاح شده سلطانی و همکاران (Soltani, et al., 2006) استفاده شد.

1- Physiological Days

معادله (۱)

$$PDt = f(T) \times f(PP)$$
$$f(T) = (T - Tb)/(To1 - Tb) \text{ if } Tb < T < To1$$
$$f(T) = (Tc - T)/(Tc - To2) \text{ if } To2 < T < Tc$$
$$f(T) = 1 \text{ if } To1 < T < To2$$
$$f(T) = 0 \text{ if } T _ Tb \text{ or } T _ Tc \quad f(PP) = 1 \text{ if } PP _ Pc$$
$$f(PP) = 1 - PS \times (Pc - PP) \text{ if } PP < Pc$$

که در آن، PDt: روزهای فیزیولوژیک تجمع یافته، f (T): تابع دما، f (PP): تابع فتوپریود، T:دما، Tb: دمای پایه، To: دمای بهینه، To1: حد پایینی دمای بهینه، To2: حد بالایی دمای بهینه، Tc: حداکثر دمای قابل تحمل یا دمای بحرانی قابل تحمل، PP: فتوپریود بر اساس ساعت در روز، Pc: فتوپریود بحرانی که در مقادیر بیشتر از آن غده‌زایی سیب‌زمینی به تعویق می‌افتد و PS: ضریب حساسیت به فتوپریود است.

مدل شبیه‌سازی AEZ[2]

این مدل اولین بار توسط فائو به‌منظور محاسبه تولید بالقوه (ظرفیت تولید تابشی- گرمایی) در شرایط اقلیمی مختلف برای گیاهان زراعی پیشنهاد شد (FAO, 1979). این روش با استفاده از ظرفیت ژنتیکی گیاه و ویژگی‌های گیاهی آن با بهره گیری از داده-های اقلیمی مانند تابش خورشید و دما، میزان تولید زیست‌توده محصول برآورد شده است. پارامترهایی که در این مدل باید بر اساس آزمایشات مزرعه‌ای اندازه‌گیری شوند عبارتند از نرخ تولید ماده خشک، ضریب طول دوره رشد، نرخ تنفس و شاخص ضریب تنفس. در نهایت، با استفاده از مدل AEZ عملکرد بالقوه[3] اقلیمی (عملکرد قابل حصول در شرایط اقلیمی یک منطقه) تخمین زده شد و دقت مدل نیز بر اساس شاخص‌های آماری مختلف ارزیابی گردید. معادلات اصلی در مدل فائو به‌صورت زیر است (FAO, 1996):

معادله (۲)
$$Bn=0.36bgm \times KLAI/((1/L)+0.25Ct$$

که در آن، Bn: تولید زیست‌توده خالص ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$)، bgm: حداکثر میزان تولید زیست‌توده ناخالص ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$)، L: تعداد روزهای لازم در طول فصل رشد، Ct: میزان تنفس و KLAI: ضریب سطح برگ می‌باشند.

معادله (۳)
$$Bgm=f.bo(1+0.002y)+(1-f)bc(1+0.005y)$$

2- Agro Ecological Zonning
3- Climatic potential yield

کـه در آن، Bgm: حـداکثر نـرخ تولیـد زیسـت‌تـوده ناخـالص ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$)، F: بخشـی از روز کـه آسـمان ابـری اسـت، bo: حداکثر تولید زیست‌تـوده ناخـالص در روزهـای ابـری و غیـر آفتـابی ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$)، 1-f: بخشی از روز کـه آسـمان آفتـابی اسـت، bc: حـداکثر تولیـد زیسـت‌تـوده ناخـالص در روزهـای روشـن و آفتـابی ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$) و y: شاخص ضریب فتوسنتز می‌باشند.

معادله (۴) $F=1- n/N$

که در آن، n = ساعات آفتابی که اتفاق افتاده است و N: ساعات آفتابی بالقوه (بر اساس عرض جغرافیایی) می‌باشد.

معادله (۵) $Ct=0.0108\times(0.044+0.0019)\times t+0.001\times(t^2)$

که در آن، C_t: نرخ تنفس و t: متوسـط درجـه حـرارت در طـول فصل رشد می‌باشند.

داده‌های مورد نیـاز مـدل AEZ: ۱- داده‌هـای هواشناسـی (اقلیمی): داده‌های مربوط به حداقل و حـداکثر دمـای روزانـه، بـارش روزانه، رطوبت نسبی هوا، ساعات آفتابی روزانه در سـال‌هـای اجـرای آزمایش (جدول ۱) و داده‌های هواشناسی بلندمدت ایستگاه‌های مـورد مطالعه استان استفاده گردید (جدول ۲). ۲- داده‌هـای مزرعـه: بـرای جمع‌آوری داده‌هـای مزرعـه (بـه‌عنـوان داده‌هـای مشـاهده شـده) از داده‌های سال اجرای آزمایش و سـایر آزمـایش‌هـای انجـام شـده در دانشـگاه جیرفـت و داده‌هـای مرکـز تحقیقـات اسـتفاده گردیـد. ۳- داده‌های خاک: برای ارزیابی مدل به داده‌های مربـوط بـه آزمایشـات خاک مزرعه (جدول ۳) شامل بافت خاک، ماده آلی، شوری خاک، pH و سایر ویژگی‌های شیمیایی مورد نیاز است.

ارزیابی مدل

ارزیابی مدل AEZ در برآورد عملکرد زیست‌توده زوفا در مراحـل رشد با استفاده از به‌کـارگیری شـاخص‌هـای آمـاری شـامل شـاخص $RMSE_n$[1]، شاخص سـازگاری[2] (D)، ضریب کـارایی[3] (E) و شـاخص جرم بـاقی‌مانـده[4] (CRM) کـه بـه‌صـورت زیـر محاسـبه مـی‌شـوند (Willmott, 1982) ارزیابی شد.

1- Normalized mean root of error squares
2- Index of agreement
3- Coefficient of efficiency
4- Coefficient of residual mass

شاخص $RMSE_n$ از معادله زیر محاسبه می‌گـردد (Rinaldy et al., 2003):

$$RMSEn = \left(\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2 / n\right)^{0.5} / \overline{M}_{avr} \quad (۶)\ \text{معادله}$$

کـه در آن، S_i و M_i: بـه‌ترتیـب مقـادیر شـبیه‌سـازی شـده و اندازه‌گیری شده، n: شمار مشاهده‌هـا و M_{avr}: میـانگین کـل مقـادیر واقعی است. توان پیش‌بینی مدل در صورتی که میزان $RMSE_n$ کمتر از ۱۰ درصد باشد، عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، متوسط و اگر بالاتر از ۳۰ درصد باشد، ضـعیف برآورد می‌گردد (Rinaldy et al., 2003). می‌توان این شاخص را بـا استفاده از معادله ۶ بر پایه کیلوگرم در هکتار نیز گزارش نمود. در این صورت، RMSE[5] با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2 / n\right)^{0.5} \quad (۷)\ \text{معادله}$$

شاخص سازگاری[6] (D): یک فراسنجه توصیفی است کـه میـزان آن ‎-∞ تا ۱+ تغییر می‌کند (Eitzinger et al., 2004). هر چه میزان D به یک نزدیک‌تر باشد، مدل کاراتر است و شبیه‌سازی موفق‌تر بوده است (Eitzinger et al., 2004; Singh et al., 2008).

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|S_i - \overline{M}\right| + \left|M - \overline{M}\right|\right)^2} \quad (۸)\ \text{معادله}$$

ضریب کارایی[7] (E) بیانگر نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده به انحراف مقـادیر انـدازه‌گیـری شـده از میـانگین است. میزان E بین ‎-∞ تا ۱+ متغیر است. هر چه میزان آن بـه یـک نزدیک‌تر باشد، مدل کاراتر اسـت و مقـادیر شـبیه‌سـازی شـده قابـل اطمینان‌تر است (Willmot, 1982).

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - S_i)}{\sum_{i=1}^{n}\left(M_i - \overline{M}\right)^2} \quad (۹)\ \text{معادله}$$

شاخص جرم باقی‌مانده (CRM): نشانگر مدل برای برآورد بـیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسـه بـا انـدازه‌گیـری‌هاسـت. در حالـت مطلوب که مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده بـا هـم برابر باشـند مقادیر عددی CRM، ME، RMSE برابر بـا صـفر و میـزان E و d

5- Root mean square error
6- Index of agreement
7- Coefficient of efficiency

برابر یک خواهند بود (Walpole et al., 1998; Willmott, 1982)

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i - \sum_{i=1}^{n} s_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \quad (۱۰)$$

معادله (۱۰)

برای ارزیابی شاخص‌های اقلیمی، آگرواکولوژیک و رسم نمودارهای مختلف همچون نمودارهای دمایی، ضرایب حرارتی، طول دوره رشد و شاخص‌های اقلیمی- کشاورزی با اتکا بر آمارهای بلند مدت ایستگاه‌های مورد مطالعه از نرم‌افزار Excel استفاده شد. تحلیل‌های آماری آزمایشات انجام شده در مزرعه با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گرفت، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری پنج درصد مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج

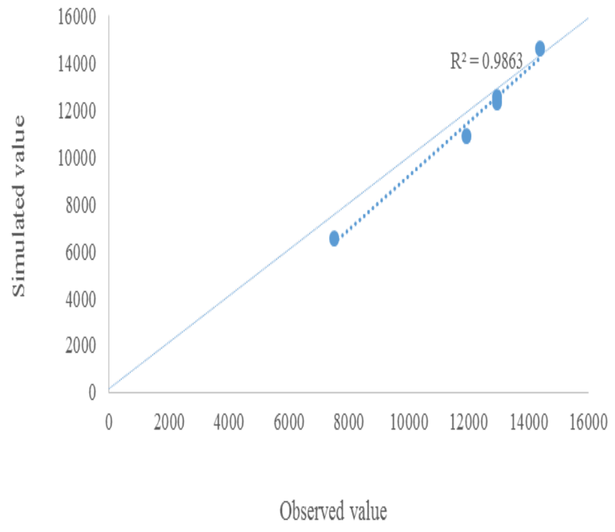
ارزیابی مدل: ارزیابی مدل واسنجی‌شده بر پایه پارامترهای مدل، داده‌های اقلیمی در سال‌های آزمایش و متغیر عملکرد زیست‌توده در تاریخ‌های کاشت متفاوت انجام شد و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. این نتایج ارائه‌دهنده شاخص‌های آماری محاسبه شده برای تعیین دقت مدل برای واسنجی مدل در سال اول است. دقت و درستی مدل به‌ترتیب با مقادیر RMSEn = 10.81، D= 0.98، E= 0.999، CRM= 0.066 در سال اول به‌دست آمد. میزان ضریب تباین (R^2) از تجزیه رگرسیون خطی توابع بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده در سال اول (R2 = 0.98) به‌دست آمد (شکل ۱).

نتایج جدول ۱ نشان داد مقدار RMSEn برای مقدار زیست‌توده پیش‌بینی شده در سال دوم برابر با ۵/۹۶ درصد، مقدار شاخص کارایی ۰/۹۹۹ درصد، مقدار شاخص سازگاری ۰/۹۸ درصد و مقدار شاخص جرم باقی‌مانده ۰/۰۴۵۴ درصد بود (جدول ۱)، نتایج نشان‌دهنده هم‌خوانی خوب بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده است. مقادیر شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب کارایی (E)، شاخص سازگاری (D)، و ضریب باقی‌مانده (CRM)، بیانگر توانایی بالای مدل جهت پیش‌بینی تولید زیست‌توده در گیاه زوفا برای تاریخ‌های کاشت مختلف می‌باشد. نتایج تحلیل خط یک به یک (شکل ۲). نیز تأییدکننده کارایی بالای مدل AEZ برای پیش‌بینی زیست‌توده گیاه زوفا می‌باشد، به‌طوری‌که ضریب R^2 بیش از ۰/۹۸ است.

جدول ۱- نتایج ارزیابی مدل واسنجی شده برای عملکرد و مراحل فنولوژیک زوفا در سال اول و دوم در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری جیرفت

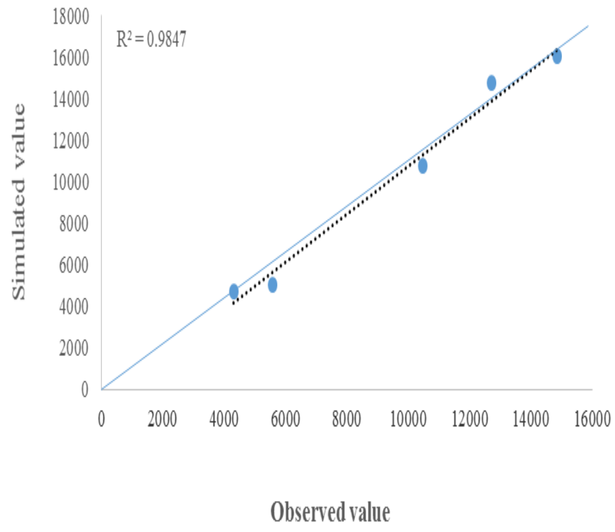
Table 1- Results of evaluation and efficiency of calibrated model for performance and phenological stages of hyssop in the first and second year under subtropical climatic conditions in Jiroft, Iran

سال دوم Second year		سال اول First year	
صفت عملکرد زیست‌توده Biomass yield trait	میزان Level	صفت عملکرد زیست‌توده Biomass yield trait	میزان Level
میانگین واقعی Actual average (kg.ha^{-1})	10279	میانگین واقعی Actual average (kg.ha^{-1})	11933.7
میانگین شبیه‌سازی Average simulation (kg.ha^{-1})	9593.6	میانگین شبیه‌سازی Average simulation (kg.ha^{-1})	11391.5
ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (kg)	1111.49	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (kg)	712.41
میانگین مربعات خطای نرمال شده RMSEn (%)	10.81326	میانگین مربعات خطای نرمال شده RMSEn (%)	5.969718
ضریب کارایی مدل E	0.9999695	ضریب کارایی مدل E	0.9999019
شاخص سازگاری D	0.98406	شاخص سازگاری D	0.980317
جرم باقی‌مانده CRM	0.066676	جرم باقی‌مانده CRM	0.045438



شکل ۱- خط ۱:۱ (یک به یک) بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی زیست‌توده زوفا در سال اول در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری جیرفت

Fig. 1- 1: 1 Line diagram (one by one) between simulated and actual values of hyssop biomass in the first year under subtropical climatic condition in Jiroft, Iran



شکل ۲- خط ۱:۱ (یک به یک) بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی زیست‌توده زوفا در سال دوم در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری جیرفت

Fig. 2- 1: 1 Line diagram (one by one) between simulated and actual values of hyssop biomass in the second year under subtropical climatic condition in Jiroft, Iran

در صورتی که میزان R^2 بیش از ۶۰ درصد باشد مدل از کارایی قابل قبولی برخوردار است (Hammer & Nuchow, 1994)، لذا با توجه اینکه ضریب تباین بیش از ۰/۹۸ است نیز می‌توان از کارایی این مدل برای پیش‌بینی زیست‌توده زوفا اعتماد نمود. باتوجه به اینکه تاکنون آزمایشی مبنی بر استفاده از این مدل برای گیاه زوفا گزارش نشده است، نتایج این پژوهش اهمیت زیادی دارد. در مورد کارایی و محدودیت‌های این مدل برای سایر محصولات اصلی زراعی نظیر گندم و ذرت مطالعات بیشتری در سطح جهان صورت گرفته است. توان بالقوه عملکرد گندم (عملکرد پتانسیل دانه) در منطقه‌ای واقع در شمال دامغان در استان سمنان را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بر مبنای روش فائو برای کاشت گندم بررسی شد (Ashraf, 2011) نتایج نشات داد توان بالقوه عملکرد گندم در اراضی این منطقه بین ۳۸۰ و ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. پایین بودن توان بالقوه عملکرد گندم در برخی واحدهای آگرواکولوژیک به‌علت محدودیت شوری و قلیائیت تشخیص داده شد. همچنین در گزارشی دیگر (Ashraf et al., 2011) توان بالقوه عملکرد گیاه جو (*Hordeum vulgar*) در این منطقه بین ۳۵۳ و ۵۲۷۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

تحلیل عملکرد زیست‌توده زوفا با استفاده از مدل AEZ

نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده برای طیف گسترده‌ای از تاریخ‌های کاشت در شهرستان‌های جیرفت، بم و کهنوج شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی برای شهرستان جیرفت نشان داد در شرایط کاشت به‌موقع زوفا (اول مهرماه تا اوایل آذرماه) عملکرد به‌طور قابل توجهی بالا است و هر چقدر از این تاریخ دور می‌شویم، عملکرد گیاه کاهش پیدا می‌کند (جدول ۲). در شهرستان بم، در تاریخ کاشت اول مهرماه تا اول آبان‌ماه (به‌ترتیب ۲۳۲۱۹/۹ و ۲۳۵۵۰/۲ کیلوگرم) بیشترین عملکرد زیست‌توده حاصل شد (جدول ۳) و بیشترین عملکرد زیست‌توده زوفا در شهرستان کهنوج در تاریخ کاشت‌های اول آبان‌ماه تا اوایل آذرماه (به‌ترتیب ۱۹۴۱۳/۹ و ۱۹۷۶۴/۳ کیلوگرم) به‌دست آمد (جدول ۴).

منحنی مدل تاریخ کشت جیرفت در تاریخ ۴/۸± ۳۷روز بعد از اول مهرماه بیشترین عملکرد زیست‌توده را نشان می‌دهد. تاریخ کاشت‌های بعد از آذرماه نیز با یک کاهش نمایی (شیب منحنی عملکرد یک تابع درجه دوم است) مواجه شده است. تاریخ کاشت‌های فروردین‌ماه و اردیبهشت‌ماه به‌دلیل مواجه شدن با تنش گرما و عدم تطابق دوره گل‌دهی گیاه با شرایط مناسب اقلیمی (خروج از دوره رشد مناسب پیش‌بینی شده طبق چارچوب فائو) عملکرد بسیار پایینی (به‌ترتیب ۵۶۱۳/۷ و ۹۸۵ کیلوگرم) حاصل نمودند (شکل (3a) و جدول ۲).

جدول ۲- تخمین عملکرد زیست‌توده گیاه زوفا در تاریخ کاشت مختلف برای ایستگاه جیرفت

Table 2- Estimation of biomass yield of hyssop plant (biomass) at different planting dates for Jiroft station

تاریخ کاشت Planting date	تاریخ برداشت Harvesting date	طول دوره رشد Growth period (days)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)
23 September	23 April	213	20835.3
23 October	21 May	211	20467.8
22 November	8 June	199	20656.0
22 December	19 June	180	19521.6
21 January	27 June	158	17332.8
20 February	6 July	137	12386.2
21 March	18 July	120	5613.7
21 April	5 August	107	985

جدول ۳-تخمین عملکرد زیست‌توده گیاه زوفا در تاریخ کاشت مختلف برای ایستگاه بم

Table 3- Estimation of biomass yield of hyssop plant (biomass) at different planting dates for Bam station

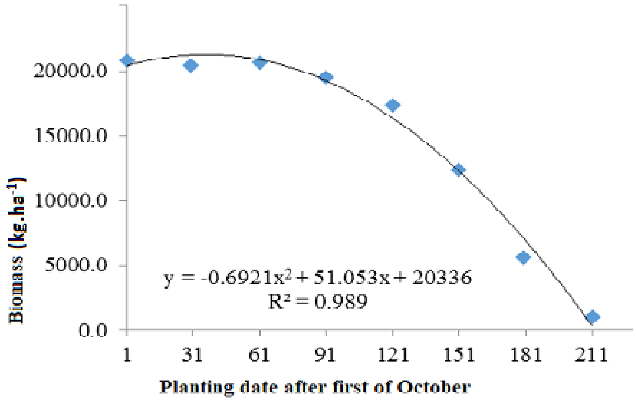
تاریخ کاشت Planting date	تاریخ برداشت Harvesting date	طول دوره رشد Growth period (days)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)
23 September	11 May	231	23219.9
23 October	4 June	225	23550.2
22 November	20 June	211	22557.4
22 December	30 June	191	21893.3
21 January	5 July	166	18646.6
20 February	13 July	144	15611.6
21 March	25 July	127	9222.2
21 April	12 August	114	5081.4

جدول ٤- تخمین عملکرد زیست‌توده گیاه زوفا در تاریخ کاشت مختلف برای ایستگاه کهنوج

Table 4- Estimation of biomass yield of hyssop plant (biomass) at different planting dates for Kahnooj station

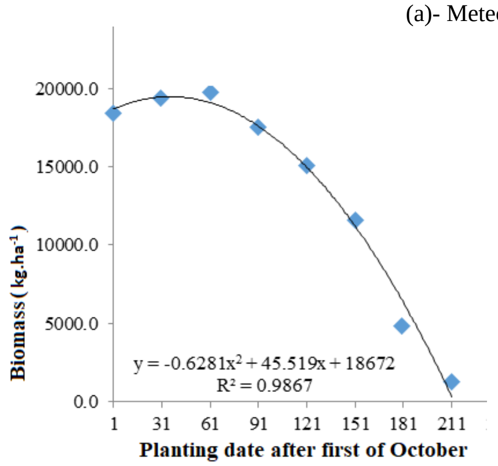
تاریخ کاشت Planting date	تاریخ برداشت Harvesting date	طول دوره رشد Growth period (days)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)
23 September	4 April	194	18437
23 October	6 May	196	19413.9
22 November	26 May	186	19764.3
22 December	8 June	169	17529.5
21 January	17 June	148	15098.1
20 February	27 June	128	11629
21 March	10 July	112	4792.4
21 April	30 July	101	1283.4

در شهرستان بم بیشترین عملکرد در تاریخ۵/۳ ± ۲۸روز بعد از اول مهرماه به‌دست آمد و تأخیر در کشت بعد از اول مهرماه تا تقریباً ۴۰ روز بعد از آن (۱۰ آبان‌ماه) منجر به افزایش عملکرد شده است به‌طوری‌که شیب تابع در این دامنه منطبق با یک تابع درجه دوم است. تاریخ کاشت‌های بعد از آذرماه نیز با یک کاهش نمایی (مواجه شده است. تاریخ کاشت‌های فروردین‌ماه و اردیبهشت‌ماه به‌دلیل مواجه شدن با تنش گرما و عدم تطابق دوره گل‌دهی گیاه با شرایط مناسب اقلیمی (خروج از دوره رشد مناسب پیش‌بینی شده طبق چارچوب فائو) عملکرد بسیار پایینی (به‌ترتیب ۹۲۲۲/۲ و ۵۰۸۱/۴ کیلوگرم) حاصل نمودند (شکل (۳b) و جدول ۳). منحنی مدل تاریخ کشت کهنوج در۴/۳ ±۳۶ روز بعد از اول مهرماه بیشترین عملکرد را نشان می‌دهد. تاریخ کاشت‌های بعد از ۱۰ آذرماه نیز با یک کاهش نمایی مواجه شده است. تاریخ کاشت‌های فروردین‌ماه و اردیبهشت‌ماه به‌دلیل مواجه شدن با تنش گرما و عدم تطابق دوره گل‌دهی گیاه با شرایط مناسب اقلیمی (خروج از دوره رشد مناسب پیش‌بینی شده طبق چارچوب فائو) عملکرد بسیار پایینی (به‌ترتیب ۴۷۹۲/۴ و ۱۲۸۳/۴ کیلوگرم) حاصل نمودند (شکل (۳c) و جدول ۴).



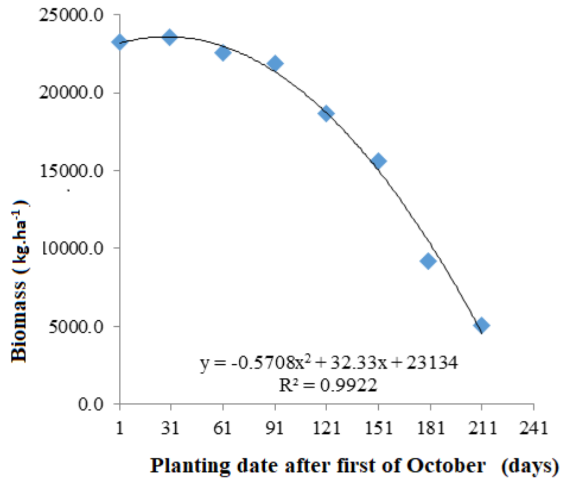
(a)- ایستگاه هواشناسی جیرفت

(a)- Meteorological station of Jiroft



(c)- ایستگاه هواشناسی کهنوج

(c)- Meteorological station of Kahnouj



(b)- ایستگاه هواشناسی بم

(b)- Meteorological station of Bam

شکل ۳- عملکرد شبیه‌سازی شده زیست‌توده گیاه زوفا در تاریخ کاشت‌های مختلف با استفاده مدل AEZ به‌ترتیب برای ایستگاه‌های هواشناسی جیرفت بم و کهنوج

Fig. 3- Simulated biomass yield of hyssop plant in different planting dates using AEZ model respectively for meteorological stations of Jiroft (a), Bam (b) and Kahnouj (c), (these stations being in southern of Kerman, Iran)

محور افقی نمودارهای بالا روز تاریخ کاشت بعد از اولین تاریخ کشت (اول اکتبر) را نشان می‌دهد.

The horizontal axis from the above curves indicates the planting date (days) after the first planting date (1 October).

درجه روز رشد: درجه روز رشد یکی از مهم‌ترین شاخص‌های حرارتی برای تعیین مراحل مختلف رشد و نمو در گیاهان می‌باشد (Dwyer et al., 1999). درجه روز رشد واحدهای مورد استفاده در اندازه‌گیری تجمع حرارت در طول زمان است که اگر برای گیاهی در یک منطقه محاسبه گردد تقریباً قابل تعمیم برای سایر نقاط خواهد بود (به‌شرط عدم حساسیت به طول روز یا سایر فاکتورهای اقلیمی). مراحل فنولوژیک دوره رشد برای گیاه زوفا در مناطق مورد مطالعه به‌صورت سبزشدن، گل‌دهی و برداشت ثبت گردید. نتایج ارائه شده در جدول ۵ نیاز حرارتی مورد نیاز گیاه زوفا (روش P-Days) را در تغییرات فتوپریودی نشان می‌دهد. نیاز حرارتی گیاه در طول مرحله سبزشدن در روش P-Days در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهرماه تا ۲۵ اسفندماه سال ۱۳۹۶ به‌ترتیب ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد با طول دوره ۱۲ روز، ۳/۴۱ درجه سانتی‌گراد با طول دوره ۱۴ روز، ۴/۶۹ درجه سانتی‌گراد با طول دوره ۱۵ روز، ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد با طول دوره

۱۵ روز و ۰/۸ درجه سانتی‌گراد با طول دوره ۱۱ روز و ۲ درجه سانتی‌گراد با طول دوره هشت روز به‌دست آمد (جدول ۵). درجه روز رشد در تاریخ کاشت‌های مختلف برای روش P-Days به‌ترتیب برابر با ۳۵/۰۷، ۳۲/۴، ۳۶/۴، ۲۶/۳، ۲۱/۹ و ۳۹/۱ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. نتایج نشان داد که زمان شروع گل‌دهی در تاریخ‌های مختلف کاشت متفاوت بود، به‌طوری‌که با تأخیر در تاریخ کاشت زمان شروع گل‌دهی زودتر آغاز و به پایان رسید در نتیجه، میزان طول دوره گل‌دهی کاهش یافت (جدول ۵). نیاز حرارتی گیاه زوفا در مرحله برداشت در روش P-Days به‌ترتیب تاریخ کاشت‌ها معادل ۵۴/۳۸، ۵۳/۳۹، ۵۲/۸۸، ۲۶/۳۸، ۲۱/۹۹ و ۳۹/۲۹ درجه سانتی‌گراد با طول دوره به‌ترتیب ۳۰، ۳۶، ۵۳، ۶۱، ۴۵ و ۴۴ روز بود (جدول ۵).

جدول ۵- مراحل فنولوژیک بر اساس مشاهدات آزمایش مزرعه برای روش P-Days در منطقه جیرفت

Table 5- Phenological stages based on field experiment observations for the P-Days method in the Jiroft region

مراحل فنولوژیک Phenological stages	تاریخ کاشت Planting date	زمان شروع Start time	زمان پایان End time	دوره رشد (روز) Growth period (days)	درجه روز رشد روش P-Days Growth Degree Day (GDD)
کاشت تا سبز شدن Planting to emergence	2017.10.17	2017.10.17	2017.10.29	12	0.75
	2017.11.16	2017.11.16	2017.11.30	14	3.41
	2017.12.16	2017.12.16	2017.12.31	15	4.69
	2018.01.15	2018.01.15	2018.01.30	15	0.18
	2018.02.14	2018.02.14	2018.02.25	11	0.8
	2018.03.16	2018.03.16	2018.03.23	8	2
گل‌دهی Flowering	2017.10.17	2017.10.29	2018.04.05	158	35.07
	2017.11.16	2017.11.30	2018.04.06	127	32.4
	2017.12.16	2017.12.31	2018.04.19	109	36.4
	2018.01.15	2018.01.30	2018.05.29	119	26.3
	2018.02.14	2018.02.25	2018.07.04	129	21.9
	2018.03.16	2018.03.23	2018.07.21	120	39.1
برداشت Harvest	2017.10.17	2018.04.05	2018.05.05	30	54.38
	2017.11.16	2018.04.06	2018.05.12	36	53.39
	2017.12.16	2018.04.19	2018.06.11	53	52.88
	2018.01.15	2018.05.29	2018.07.29	61	26.38
	2018.02.14	2018.07.04	2018.08.18	45	21.99
	2018.03.16	2018.07.21	2018.09.03	44	39.29

با توجه به مشاهدات ثبت شده اختلاف بین زمان کاشت و اختلاف زمان برداشت در تاریخ کاشت‌های مختلف، شاخص مطالعه شده P-Days بهترین شاخص برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیک برای گیاه زوفا می‌باشد. به‌عنوان مثال، فاصله زمانی کاشت در تاریخ کشت اول و دوم نزدیک به ۳۰ روز بود، امّا فاصله زمانی برداشت آن‌ها کمتر از ۱۰ روز بود. این نتایج بیانگر این است که اولاً این گیاه دارای ویژگی روز بلندی است (تقریباً ۱۲/۱ ساعت) و دما تأمین نیاز فتوپریودی در تاریخ کشت آبان‌ماه در این ماه باعث کاهش نیاز حرارتی مورد نیاز شده است. با این حال، بر اساس مشاهدات ثبت شده مرحله رشد رویشی حساسیتی به فتوپریود نشان نداد.

شاخص P-Days برای اولین بار در یک مدل آگروکلیماتیک استفاده شد (Radatz, 1979) و نتایج نشان داد که نمو سیب‌زمینی را می‌توان از طریق میزان تجمع P-Days تخمین زد، به‌طوری‌که میزان P-Days معادل ۰-۱۶۰ نشان‌دهنده کاشت تا گل‌دهی است، ۳۳۰-۱۶۰ نشان‌دهنده مرحله رشد رویشی، ۴۴۰-۳۳۰ نشان‌دهنده مرحله غده‌زایی و از ۴۴۰ تا اولین یخبندان یا ظهور دماهای بالاتر از حد آستانه تحمل (در کشت زمستانه مناطق گرمسیری) نشان‌دهنده مرحله حجیم شدن غده‌ها می‌باشد. طائی و همکاران (Taei Semiromi et al., 2015) از شاخص P-Days برای پیش‌بینی فنولوژی سیب‌زمینی در الگوهای کشت بهاره– پاییزه و زمستانه در منطقه جیرفت بررسی نمودند و گزارش کردند این شاخص می‌تواند مراحل فنولوژی سیب‌زمینی را با دقت بالایی تخمین بزند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پـژوهش مـدل AEZ کـارایی بـالایی بـرای شبیه‌سازی زیست‌توده زوفا در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسـیری جیرفـت نشان داده است. بنابراین، با استفاده از این مدل میزان زیست‌توده زوفا برای طیف متنوعی از تاریخ‌های کشت برای ایستگاه‌های جیرفت بـم و کهنوج در استان کرمان پیش‌بینی گردید و بر اساس خروجـی‌هـای مـدل AEZ مـدل‌هـای رگرسـیونی مناسب بـرای تخمـین میـزان زیست‌توده در تاریخ‌های کاشت مختلف در شرایط اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی استان برازش داده شد. مدل‌های برازش داده شده با دقـت قابل قبولی بهترین تاریخ‌های کاشت و مناسب ترین زمان کشت زوفـا را بر اساس میزان زیست‌توده تولید شده نشان دادند. بر اسـاس نتـایج مدل AEZ تاریخ کشت مناسب زوفا برای شرایط اقلیمـی جیرفـت در تاریخ ۴/۸± ۳۷ روز در شرایط اقلیمی بـم ۵/۳± ۲۸ روز و در شـرایط اقلیمی کهنوج در۴/۳± ۳۶ روز بعد از اول مهرماه پیش‌بینی گردید.

References

1. Ashraf, S. (2011). Estimating the land production potential for wheat, using GIS method. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *5*(8), 118-122. http://ajbasweb.com/old/ajbas/2011/August-2011/118-122.pdf
2. Ashrafv, S., Ashraf, V., & Abbaspour, H. (2011). Assessment of land production potential for barley using geographic information system (GIS) method. *Indian Journal of Science and Technology*, *4*(12), 1775-1777. DOI:10.17485/ijst/2011/v4i12.32
3. De Pauw, E., Mirghasemi, A., Ghaffari, A., and Nseir, B. (2008). *Agro ecological zones of Karkheh River Basin: A reconnaissance assessment of climatic and edaphic patterns and their similarity to areas inside and outside the basin*. Technical Report, Syrian Arab Republic: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). https://hdl.handle.net/20.500.11766/9711 .
4. Dua, V.K., Govindakrishnan, P.M., & Singh, B.P. (2014). Calibration of WOFOST model for potato. *India. Potato Research*, *41*(2), 105-112. http://epubs.icar.org.in/.../PotatoJ
5. Dwyer, L.M., Stewart, D.M., Carrigan, L., Neave, B.L., Ma, P., & Bichin, D. (1999). A general thermal index for maize. *Agronomy Journal*, 91, 940-946. //doi.org/10.2134/agronj1999.916940x
6. Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z., & Dubrovsky, M. (2004). Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling*, 171, 223-246. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.08.012
7. Esfandiari, F. (1996). Optimum plant date prediction of milk thistle (*Silybum marianum*) in the Jiroft region using crop growth simulation models. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Jiroft, University of Jiroft. (In Persian)
8. FAO.(1976).*A framework for land evaluation*. Rome. FAO Soils Bulletin32.https://www.fao.org/3/x5310e/x5310e00.htm
9. FAO. (1996). *Guidelines: Agroecological zoning*. Rome. FAO Soils Bultin73. https://www.fao.org/3/w2962e/w2962e00.htm.
10. Fathiazad, F., & Hamedeyazdan. S. (2011). A review on Hyssopus officinalis L.: Composition and biological activities. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 5, 1959–1966. DOI:10.5897/AJPP11.527
11. Hammer, G.L., & Muchow, R.C. (1994). Assessing climatic risk to sorghum production in water limited subtropical environments. I. Development and testing of a simulation model. *Field Crops Research* 36, 221-234. *Field Crops Research* 36, 221-234. https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90114-7
12. Mijani, S., Eskandarinasrbadi, S., Zarghani, H., & Ghiasabadi, M. (2013). Seed Germination and early growth responses of hyssop, sweet basil and oregano to temperature levels. Notulae Scientia Biologicae, 5(4): 462-467. DOI: https://doi.org/10.15835/nsb549164
13. Pourmeidani, A., Ghamghami M., Olya H., & Ghahreman, N. (2020). Determination of suitable regions for cultivation of three medicinal plants under a changing climate. *Environmental Processes* 7, 89-108. https://doi.org/10.1007/s40710-020-00423-w
14. Radatz, H. (1979). Error analysis in the mathematics education. *Journal for Research in Mathematics Education*, 9, 163-172. https://doi.org/10.2307/748804
15. Rinaldy, M., Losavio, N., & Flagella, Z. (2003). Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. *Agricultural Systems*, 78, 17-30. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(03)00030-1
16. Singh, A.K., Tripathy, R., & Chopra, U.K. (2008). Evaluation of CERES wheat and CropSyst models for water-

nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95, 776-786. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.006

17. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, M.J., Robertson, B., & Zeinali, E. (2006). Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Research*, 99, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.004 .
18. Taei, J., Ghanbari, A., Ghaffari, A., Siahsar, B., Amiri, E., & Ayoubi, S. (2011). New landscape planning concepts to management strategies for developing agricultural regions. *Notulae Scientia Biologicae*, *3*(4): 51-57. http://dx.doi.org/10.15835/nsb.3.4.6361.
19. Taei Semiromi, J., Mirbagheri. V., & Amiri, A. (2015). *Agroclimatic zoning of Kerman province for production potato*. Final Report: Jiroft, University of Jiroft. (In Persian)
20. Tahir, M., Khushtar, M., Fahad, M., & Rahman, M. A. (2018). Phytochemistry and pharmacological profile of traditionally used medicinal plant Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *8*(7), 132-140.
21. Walpole, R.E., Myers, R.M., & Myers, S.L. (1998). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. Sixth Edition, New Jersey: Prentice Hall International. https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/221008/mod_resource/content/1/ProbabilityStatistics_for_EngineersScientists%289th_Edition%29_Walpole.pdf
22. Willmott, C.J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63, 1309-1313. https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063%3C1309:SCOTEO%3E2.0.CO;2.
23. Zawislak, G. (2013). The chemical composition of essential hyssop oil depending on plant growth stage. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, *12*(3): 161-170. https://www.researchgate.net/journal/Acta-scientiarum-Polonorum-Hortorum-cultus-Ogrodnictwo-1644-0692